

高速列车设计和服役关键力学问题专题序

杨国伟¹⁾

(中国科学院力学研究所流固耦合系统力学重点实验室, 北京 100190)

我国高速铁路运营里程及高速动车组保有量均占世界 2/3 以上, 稳居世界第一. 我国高速铁路“四纵四横”干线网已建设完成, 并正在以形成“八纵八横”主通道为骨架、区域连接线衔接、城际铁路补充的高速铁路网方向发展. 高速列车作为高速铁路核心装备, 是当代多种尖端科技在交通领域上的充分运用, 其运行速度、综合舒适度、安全性、可靠性、节能环保等性能指标代表了高速铁路的科技水平.

《力学学报》组织了《高速列车设计和服役关键力学问题》9 篇研究或综述论文, 旨在反映我国高速列车骨干制造企业、研究机构、高等院校的科技人员在高速列车设计和服役关键力学问题的最新研究进展, 以促进学术交流, 供从事该行业和领域的读者参考.

通过不断的技术创新, 我国设计的高速列车运行速度、综合舒适度、安全性、可靠性、节能环保等各项综合性能指标优良, 部分指标达到国际领先水平. 本专题有 4 篇文章与高速列车设计相关: 中车青岛四方机车车辆股份有限公司丁叁叁等人综述了和谐号动车组、复兴号动车组、城际动车组、前沿动车组产品的发展成就, 分析了高速列车研发过程中面临的复杂环境适应性、大系统复杂耦合作用、安全可靠设计、智能化应用等关键技术挑战, 系统概述了高速列车故障预测与健康管理系统、车体轻量化技术、被动安全防护技术、碳纤维复合材料应用、气动外形设计技术、高速转向架技术、噪声控制技术、牵引制动技术等关键技术的研究进展及主要技术突破; 中国科学院力学研究所孙振旭等主要围绕“和谐号”和“复兴号”这两款主力车型的气动性能提升, 探讨了高速列车空调导流罩、受电弓平台、风挡和转向架裙板等几类对列车阻力影响较为明显的部件改型设计, 并从头型参数化方法、替代模型以及优化算法改进等三个方面详述了高速列车流线型头型优化设计过程. 郭易等利用中国科学院力学研究所研制的高速列车动模型实验平台, 开展了缩尺比列 1:8 八编组高速列车列车风的动模型实验研究, 采用实验数据的系综平均和方差分析, 明晰了列车头部稳定列车风及车身发展区和能量集中尾迹区的非定常特性; 中国科学院力学研究所的吴孟臻等以弓网接触力随机统计特征作为优化目标函数, 开展了受电弓动力学参数的敏感度分析和优化设计研究, 建议同时减小弓头等效阻尼和增大弓头等效刚度, 能够实现比单参数优化更好的弓网耦合性能.

在高速列车发展初期, 重点关注问题是如何保证高速列车高速、平稳和安全运行. 随着高速动车组大量在线运营, 高速列车的服役安全和关键部件结构可靠性成为研究热点. 本专题有 5 篇文章与高速列车服役相关: 西南交通大学的张卫华提出了基于循环变量法的长编组列车建模与计算方法, 实现任意列车编组的仿真,

2020-12-06 收稿.

1) 杨国伟, 研究员, 主要研究方向: 空气动力学、计算流体力学、气动弹性及优化设计. Email: gwyang@imech.ac.cn

引用格式: 杨国伟. 高速列车设计和服役关键力学问题专题序. 力学学报, 2021, 53(1): 17-18

Yang Guowei. Investigation on key mechanics problems of high-speed train design and service safety. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2021, 53(1): 17-18

得到不同编组位置车辆的服役状态;提出了滑动窗口的轨道建模与车线耦合计算方法,得到列车在任意长线路上运行的服役状态;提出了基于时变参数的长期服役计算方法,实现列车在不同服役状态与服役时间的服役模拟,最终实现了列车在不同寿命阶段的服役模拟。北京交通大学的王曦等概述了高速列车轴承所处的复杂使用环境及运用中的主要失效模式,分析了高速列车轴承可靠性评估所需的关键力学参量,强调了轴承内部滚滑行为和载荷分布在可靠性评估和轴承状态监测中的重要作用,并从计算模型和测试技术等方面系统阐述了针对这两个关键力学参量的研究进展。北京交通大学的邹骅等对转向架构架承载系统的线性假设、稳定假设及典型假设进行了确认研究;根据长期实测线路的动应力数据,将转向架构架典型应力分区域编制应力谱;根据构架受力特点在试验台中标定各个载荷系下的载荷应力传递关系,基于损伤一致性原则建立优化函数,得到一种适用于由线路实测动应力大数据推导出实验载荷谱的方法。该方法具有较高的精度,对构架关键部位的考核实现了典型区域全覆盖;相比国际通用规范,该方法对所有典型区域做到损伤再现,所编制实验谱对转向架构架的考核更具有适用性。西南交通大学的吴圣川等采用空气炮装置开展高周疲劳试验获得光滑试样和异物致损小试样的疲劳 S-N 曲线,考虑载荷模式、表面质量和尺寸系数推证出全尺寸车轴的疲劳性能。采用修正的 Miner 理论公式估算含异物致损实物车轴的服役寿命,得到能够满足 30 年服役寿命的结果。中车唐山机车车辆有限公司的李明等基于动静态测试结合的分析方法,对不同运行年限动车组在四级修前后的线路运行气动载荷和静态气密性进行了测试研究,通过建立动静态气密性能分析模型获得了动静态气密指数,总结了隧道条件、运行速度等因素对车内压力波动和气密性能的影响规律,同时针对典型气密部件的泄漏量和泄露面积进行分析,得到了气密敏感部件影响度排序并提出了优化方案。

十几年来,以高速列车为代表的高速铁路装备在长期技术积累和自主研发基础上,通过产学研用的举国体制,经过引进消化吸收再创新、自主提升创新、全面创新和持续创新,我国成功研制了先进的高速列车产品,使中国高速铁路总体技术水平居于世界前列。由于篇幅限制,本专题就高速列车设计和服役关键力学问题研究方面组织了 9 篇论文,仅从一个侧面反映我国科技工作者在中国高速铁路发展过程中的研究成果和支撑作用。随着我国川藏铁路的开工建设、“一带一路”和“走出去”等国家战略的实施,需要我们积极应对高速铁路的环境适应性、安全性、可靠性、能效及智能化等带来的新挑战,持续推动高速铁路装备的引领发展。